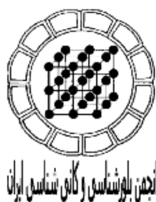
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران



مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۹، از صفحهٔ ۳۶۹ تا ۳۸۲

بررسی سنگ‌شناسی و زمین شیمی دایک‌های غرب عقدا (یزد) با کاربرد شیمی کانی‌ها

محبوبه جمشیدی‌بدر*[1]، کاظم قلی‌زاده[2]، مهدی محمدی[3]

۱- گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- شرکت کاوش فن آور مانا، زنجان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۳/۲۷، نسخه نهایی: ۹۸/۷/۷)

چکیده: دایک‌های دیابازی غرب عقدا (استان یزد) در منطقه‌ی معدن بهرام‌تاج و در پهنه ساختاری ایران مرکزی برونزد دارند. این دایک‌ها با رنگ خاکستری تیره در بین واحدهای سنگی آهک-دولومیت برونزد داشته و در راستای گسل‌های شرقی-غربی منطقه غرب عقدا قرار دارند. پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این دایک‌ها هستند. پلاژیوکلازها آندزین، بیوتیت‌های اغلب آهن‌دار (FeO: ۲۴٫۲۷-۳۱٫۵۷٪)، آمفیبول‌ها از نوع مگنزیوهورنبلند و پیروکسن‌ها دارای ترکیب اوژیت ($En_{0.50-0.58}$, $Fs_{0.14-0.22}$, $Wo_{0.25-0.31}$) هستند. دما و فشار تبلور دایک‌ها با روش‌های مختلف دما- فشارسنجی بیوتیت، آمفیبول و کلینوپیروکسن بررسی شد که بیشترین دمای تبلور ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار کمتر از ۵ کیلوبار مشخص شده است. ماهیت ماگمای سازنده این دایک‌ها قلیایی است و گریزندگی اکسیژن طی تشکیل و تبلور کانی‌های سازنده آن‌ها زیاد است. از نظر جایگاه زمین ساختی، دایک‌های غرب عقدا در محیط کششی موضعی درون قاره‌ای از نوع حوضه کششی تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *دایک‌های دیابازی؛ شیمی کانی؛ دمافشارسنجی؛ پهنه ایران مرکزی.*

مقدمه

دایک‌های غرب عقدا در گستره‌ی غرب نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ عقدا [۲،۱] قرار دارند. برونزد این دایک‌ها در ۱۵ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان عقدا در استان یزد و در گستره بین طول‌های جغرافیایی '۳۰ °۵۳ تا '۳۳ °۵۳ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۱۹ °۳۲ تا '۲۰ °۳۲ شمالی واقع هستند. دایک‌های مورد بررسی در منطقه‌ی معدن روی و سرب (کالامین) بهرام‌تاج برونزد دارند، در حال حاضر، فعالیت‌های اکتشافی و استخراج کانی‌های غیرسولفیدی روی که مهم‌ترین رخنمون کانی‌سازی در معدن بهرام‌تاج است توسط شرکت کاوش فن آور مانا در حال انجام است [۲،۱]. دایک‌های غرب عقدا، بدلیل برونزد با گسترش کم در نقشه‌ی زمین‌شناسی معرفی نشده‌اند. از این رو، هدف این پژوهش معرفی و بررسی سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی و تعیین شرایط تبلور دایک‌ها با کاربرد شیمی کانی‌های بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن است.

زمین شناسی عمومی منطقه

از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری، بر پایه تقسیم‌بندی اشتوکلین [۳]، گستره ورقه عقدا در پهنه ساختاری ایران مرکزی جای دارد. واحدهای سنگی منطقه شامل رسوب‌های آهکی و دولومیتی و شیل‌های وابسته به پرکامبرین تا کامبرین پیشین است. در بین این واحدهای سنگی، طبقاتی در برگیرنده کانسنگ هستند و در آهک‌های خاکستری روشن تا کرم رنگ یک سری سامانه گسله با راستای تقریبی شرقی- غربی دیده می‌شود که کانی سازی کانی‌های گوگردی و اکسیدی در راستای گسل‌ها با راستای شرقی-غربی و نزدیک به مرز آهک-های استروماتولیت‌دار، شیل‌های سبز و توف‌های ماسه‌ای انجام شده است [۲،۱] . کانی‌های گوگردی و اکسیدی در یک گستره بیش از ۳ کیلومتری در محل برونزد کانسار به خوبی قابل

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۶۴۵۳۸۳۶۸۵، نمابر: ۰۲۶۴۵۳۸۳۲۴۴، پست الکترونیکی: m_jamshidi@pnu.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]

مشاهده هستند [۲]. ماده معدنی کانسار غرب عقدا با نام کانسار بهرام تاج شامل کانی‌های گوگردی و اکسیدی است که همراه با باطله کربناتی در کانسنگ دیده می‌شود. از کانی‌های گوگردی تنها گالن قابل مشاهده بوده و کانی‌های گوگردی اسفالریت و پیریت فقط با ریزسکوپ الکترونی و تجزیه نقطه‌ای با ریزپردازشگر الکترونی (EPMA) قابل تشخیص است و کانی‌های اکسیدی شامل سروزیت، اسمیت‌سونیت همراه با مالاکیت و آزوریت دیده می‌شوند [۲]. به نظر می‌رسد که در برخی موارد کانی کالامین در کانسنگ وجود دارد [۲]. تجزیه کانی‌های اولیه آهن باعث تشکیل کانی‌های اکسیدی آهن مانند هماتیت و لیمونیت در کانسنگ شده که گاهی آن را به شدت رنگ آمیزی کرده است [۲]. باطله ماده معدنی در غرب گستره عقدا آهک- دولومیت است که گسل‌های موجود در کمر پایین ناحیه معدنی نیز دارای راستای شرقی-غربی هستند ولی با شیب متغیر عمل نموده‌اند. جنوبی‌ترین گسل موجود نزدیک به دشت باعث قرارگیری آهک‌های نازک لایه تیره چرت‌دار همراه با تناوب شیل و توف در کنار آهک‌های استروماتولیت‌دار و توده‌ای شده است [۱]. دایک‌های با رنگ خاکستری تیره بین این واحدهای سنگی برونزد دارند که شواهد دگرسانی در دایک‌ها نیز قابل مشاهده است. دایک‌ها در راستای گسل‌های منطقه قرار دارند.

سنگ‌نگاری دایک‌های غرب عقدا

دایک‌های غرب عقدا بین واحدهای سنگی شیل، آهک و آهک‌های دلومیتی برونزد دارند و به رنگ خاکستری تیره تا روشن دیده می‌شوند (شکل ۱). بافت این سنگ‌ها دانه‌ای تا ریزدانه‌ای و میان دانه‌ای است و در ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها پلاژیوکلاز نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل اغلب با آثار تجزیه‌شدگی قابل مشاهده است. کانی های مافیک شامل بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل دار دیده می‌شوند. کانی‌های ثانویه سنگ شامل کانی‌های رسی، سریسیت، کلریت، کلسیت، لوکوکسن و اکسید آهن و کانی‌های فرعی شامل اکسید آهن است (شکل ۲). بر اساس ترکیب کانی‌شناسی و ویژگی‌های بافتی می‌توان آن‌ها را دیاباز یا ریزگابرو نامید.



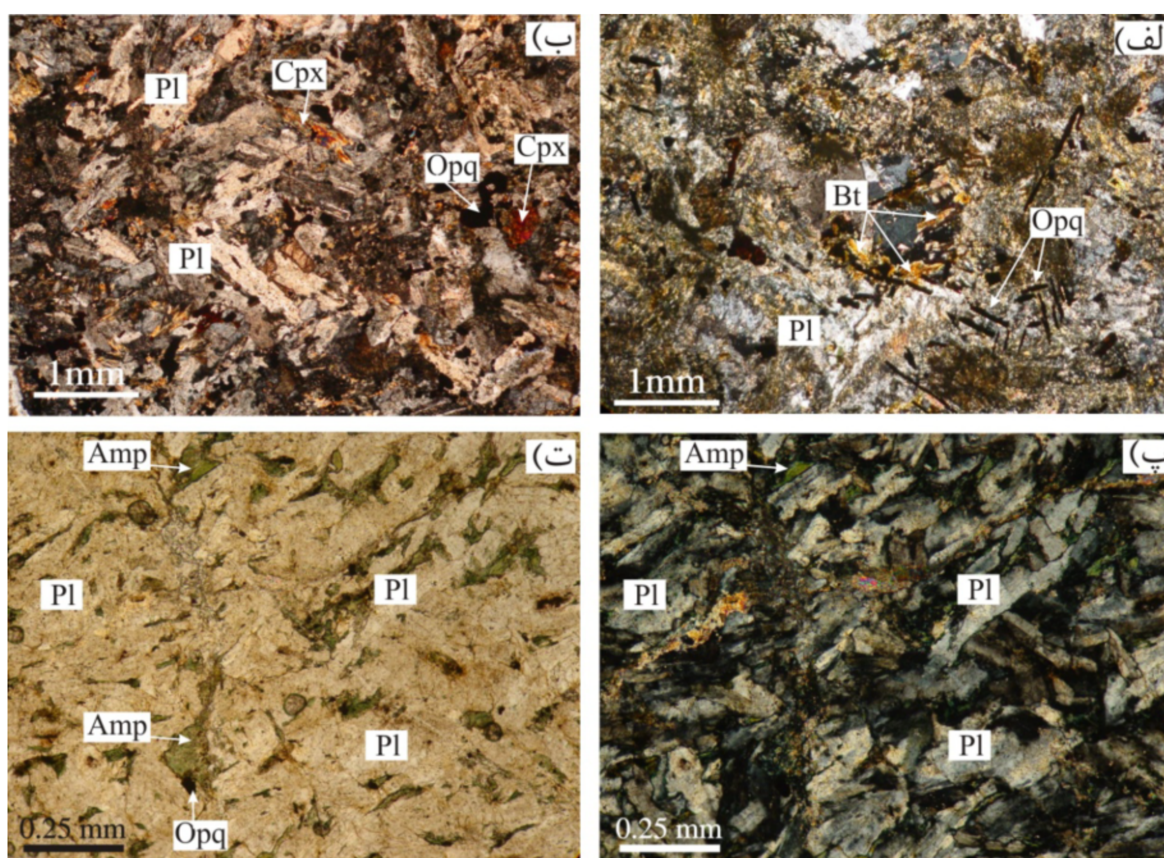




شکل ۱ برونزد دایک بین الف) واحدهای سنگی شیل و آهک دولومیتی، ب) واحدهای سنگی شیل و آهک، پ) واحدهای سنگی شیل.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]



شکل ۲ تصاویر ریزسکوپی دایک‌های غرب عقدا، الف) کانی مافیک بیوتیت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار همراه با پلاژیوکلاز و کانی‌های کدر و کانی‌های ثانویه ناشی از دگرسانی پلاژیوکلازها در نور XPL، ب) بافت میان دانه‌ای، کانی‌های مافیک کلینوپیروکسن در نور XPL، پ و ت) بافت دانه‌ای تا میان دانه‌ای همراه با کانی‌های مافیک آمفیبول به ترتیب نور XPL و PPL.

روش بررسی

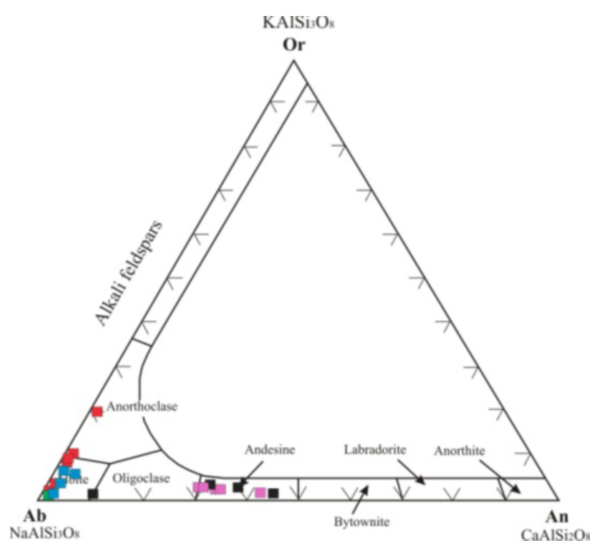
پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری، سنگ‌هایی با دگرسانی کمتر در آزمایشگاه تهیه مقطع مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران، مقطع نازک-صیقلی تهیه شد. تجزیه نقطه‌ای از کانی‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن دایک‌های غرب عقدا در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران با استفاده از دستگاه EPMA مدل ۱۰۰SX ساخت شرکت کامکای کشور فرانسه با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵kV و شدت جریان ۲۰nA انجام شد [۴].

شیمی کانی فلدسپار

فلدسپارها از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده دایک‌های غرب عقدا هستند. ۵۴ نقطه از بلور فلدسپار تجزیه ریزپردازشی شد و نتایج به دست آمده بر نمودار سه‌تایی Or-Ab-An [۵] رسم شدند (شکل ۳). فلدسپارهای موجود در دایک‌های غرب عقدا اغلب از نوع آندزین هستند و بلورهای فلدسپار دگرسان شده بیشتر آلبیتی شده‌اند و ترکیب شیمیایی آن‌ها در گستره‌ی آلبیت قرار دارد (جدول ۱) و (شکل ۳).

شیمی کانی بیوتیت

تعداد ۱۹ نقطه از ۴ بلور بیوتیت به روش ریزپردازش الکترونی تجزیه شدند. نخست بیوتیت‌های اولیه از بیوتیت‌های ثانویه با استفاده از نمودار سه تایی FeO + MnO، $10*TiO_2$، MgO، [۶] تفکیک شدند (شکل ۴ الف). ترکیب شیمیایی نقاطی که در گستره‌ی بیوتیت‌های ثانویه قرار دارند در بررسی‌های بعدی این پژوهش از لیست نتایج حذف شدند. ترکیب شیمیایی بیوتیت‌های دایک‌های غرب عقدا در نمودار ASPE [۷] در گستره‌ی بیوتیت قرار دارند و در نمودار Si-Fe/(Fe+Mg) اغلب در گستره‌ی بیوتیت‌های آهن‌دار و چند نمونه در گستره‌ی بیوتیت‌های منیزیم‌دار قرار می‌گیرند (شکل‌های ۴ب، پ).



شکل ۳ ترکیب پلاژیوکلازهای دایک‌های غرب عقدا که در دو گستره‌ی آندزین و آلبیت قرار دارند.

جدول ۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای کانی پلاژیوکلاز از دایک‌های عقدا.

	پلاژیوکلاز – بلور ۱										پلاژیوکلاز – بلور ۱								
نقاط	۲۱٫۱.	۲۲٫۱.	۲۳٫۱.	۲۴٫۱.	۲۵٫۱.	۲۶٫۱.	۲۷٫۱.	۲۸٫۱.	۲۹٫۱.	۳۰٫۱.	۶۳٫۲	۶۴٫۲.	۶۵٫۲.	۶۶٫۲.	۶۷٫۲.	۱۱٫۲.	۱۲٫۲.	۱۳٫۲.	۱۴٫۲.
SiO_2	۶۶٫۴۲	۶۵٫۵۳	۶۶٫۰۱	۶۶٫۰۳	۶۵٫۲۶	۶۶٫۳۹	۶۵٫۴۸	۶۶٫۰۳	۶۶٫۰۹	۶۷٫۱۹	۶۵٫۹۷	۶۶٫۹۲	۶۶٫۹۹	۶۶٫۵۵	۶۶٫۸۶	۶۰٫۲۱	۵۹٫۲۷	۶۰٫۹۸	۶۵٫۵۱
TiO_2	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al_2O_3	۲۰٫۲	۲۰	۲۰٫۷۳	۲۰٫۲۵	۲۰٫۴۸	۲۰٫۴۲	۲۱٫۳۴	۲۰٫۵۶	۲۰٫۰۱	۲۰٫۰۷	۲۰٫۸۲	۲۰٫۷۴	۲۰٫۵۹	۲۰٫۹۷	۲۰٫۶۵	۲۳٫۰۳	۲۴٫۲۱	۲۳٫۱۸	۲۰٫۶۶
FeO	۰٫۴۲	۱٫۶	۰٫۳۴	۰٫۴۵	۱٫۱۸	۰٫۱۵	۰٫۶۸	۰٫۴۱	۰٫۸۶	۰٫۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۱۱	۰٫۰۲	۰٫۸۵	۰٫۳۱	۰٫۱۹	۰٫۰۴
Mno	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱
MgO	۰٫۲۶	۰٫۶۸	۰٫۱۹	۰٫۱۷	۰٫۱۳	۰٫۰۵	۰٫۴	۰٫۰۰	۰٫۴۷	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰
CaO	۰٫۴۴	۰٫۲	۰٫۳۹	۰٫۴۱	۰٫۲۹	۰٫۴۷	۰٫۸۲	۰٫۴۶	۰٫۴۷	۰٫۲۳	۰٫۲۱	۰٫۲۳	۰٫۱۴	۰٫۴۱	۰٫۱۹	۷٫۰۸	۸٫۱	۶٫۲۵	۲٫۵
Na_2O	۱۱٫۹۴	۱۱٫۸۱	۱۱٫۵۷	۱۱٫۰۲	۱۱٫۱۱	۱۲٫۰۳	۱۰٫۰۳	۱۱٫۸۹	۱۰٫۹۹	۱۱٫۹	۱۱٫۹۴	۱۱٫۸۲	۱۲٫۱۷	۱۱٫۸۱	۱۲٫۱۷	۷٫۸۸	۷٫۱۶	۸٫۳۱	۱۰٫۹۳
K_2O	۰٫۳۴	۰٫۱۲	۰٫۶۷	۱٫۱۹	۱٫۲۹	۰٫۱۴	۱٫۰۶	۰٫۳۵	۰٫۷۶	۰٫۱۷	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۶۶	۰٫۳۹	۰٫۵۴	۰٫۰۴

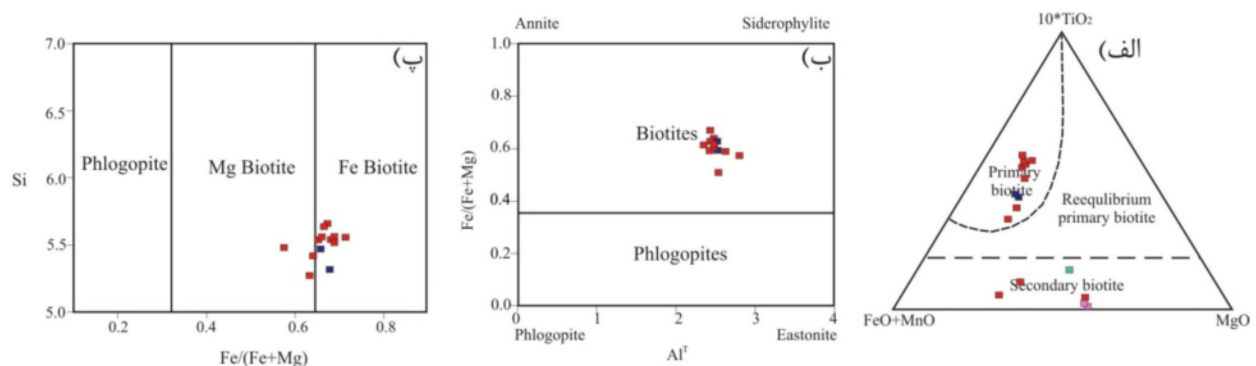
ادامه جدول ۱

	پلاژیوکلاز – بلور ۱							پلاژیوکلاز – بلور ۱		پلاژیوکلاز – بلور ۱								
نقاط	۱۵٫۲.	۱۶٫۲.	۱۷٫۲.	۱۸٫۲.	۱۹٫۲.	۲۰٫۲.	۲۱٫۲.	۲۸٫۳.	۲۹٫۳.	۴۷٫۴.	۴۸٫۴.	۴۹٫۴.	۵۰٫۴.	۵۱٫۴.	۵۲٫۴.	۵۳٫۴.	۵۴٫۴.	۵۵٫۴.
SiO_2	۵۶٫۴۵	۶۵٫۷۸	۵۷٫۵۷	۶۶٫۱۱	۶۶٫۴۶	۶۰٫۰۸	۵۹٫۹۶	۶۴٫۳	۶۳٫۷۸	۵۷٫۱۵	۶۰٫۲۳	۶۱٫۱۱	۶۱٫۴۱	۵۹٫۵۷	۶۰٫۰۱	۵۹٫۲۹	۶۰٫۷۱	۶۱٫۱۷
TiO_2	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۰
Al_2O_3	۲۶٫۰۴	۲۰٫۴۶	۲۵٫۶۴	۲۱	۲۰٫۰۸	۲۴٫۰۶	۲۴٫۲۳	۲۲٫۵۶	۲۴٫۰۵	۲۵٫۶۲	۲۵٫۳۹	۲۴٫۵۷	۲۴٫۱۱	۲۴٫۳۳	۲۵٫۰۸	۲۵٫۱	۲۴٫۵۷	۲۴٫۷۵
FeO	۰٫۲۱	۰٫۰۰	۰٫۲	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۲۳	۰٫۱۸	۰٫۵۴	۰٫۳۳	۰٫۳	۰٫۲۳	۰٫۳	۰٫۲۹	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۲	۰٫۱۴
Mno	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
MgO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۵۵	۰٫۳۷	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۳
CaO	۹٫۳۹	۲٫۵۶	۹٫۵۷	۲٫۰۹	۲٫۴۵	۷٫۱۵	۷٫۳۴	۱۰٫۲۳	۱۰٫۵	۸٫۹۶	۶٫۸۴	۶٫۱	۶٫۲۲	۷٫۵۸	۷٫۰۳	۷٫۲۱	۶٫۹۲	۶٫۱۵
Na_2O	۶٫۲۶	۱۰٫۴۷	۶٫۴۱	۱۰٫۰۳	۱۰٫۸۷	۷٫۶۶	۷٫۷۱	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۶٫۷	۷٫۶۳	۸٫۰۸	۷٫۸۶	۷٫۹	۷٫۶۵	۷٫۶۲	۷٫۸۵	۸٫۰۶
K_2O	۰٫۲۹	۰٫۰۲	۰٫۳۱	۰٫۲۱	۰٫۰۶	۰٫۴۳	۰٫۴۶	۱٫۰۶	۱٫۲	۰٫۳۳	۰٫۴۶	۰٫۵۸	۰٫۵۵	۰٫۴۴	۰٫۴۹	۰٫۵۱	۰٫۵۱	۰٫۵۴

ادامه جدول ۱

	پلاژیوکلاز – بلور ۱														پلاژیوکلاز – بلور ۱				
نقاط	۵۶٫۴.	۶۳٫۱.	۶۴٫۱.	۶۵٫۱.	۶۶٫۱.	۶۷٫۱.	۶۸٫۱.	۶۹٫۱.	۷۰٫۱.	۸۳٫۱.	۸۴٫۱.	۸۵٫۱.	۸۶٫۱.	۸۷٫۱.	۳۹٫۱.	۴۰٫۱.	۴۲٫۱.	۵۶٫۱.	۵۷٫۱.
SiO_2	۵۹٫۵۲	۶۵٫۲۳	۶۶٫۴۷	۶۷٫۹۶	۶۷٫۷۷	۶۵٫۹۲	۶۷٫۷	۶۶٫۱	۶۶	۶۴٫۰۲	۶۶٫۹۸	۶۶٫۴۱	۶۷٫۱۹	۶۶٫۰۳	۶۷٫۱۸	۶۷	۶۷٫۹۶	۶۷٫۸۵	۶۷٫۹
TiO_2	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al_2O_3	۲۵٫۰۵	۲۰٫۳۴	۲۰٫۷۳	۲۰٫۹۶	۲۱٫۳۹	۲۱٫۲۴	۲۰٫۵۹	۲۰٫۹۵	۲۰٫۷۹	۱۹٫۸۸	۲۰٫۹۸	۱۹٫۵۶	۲۰٫۰۲	۲۰٫۵۱	۲۰٫۸۱	۲۰٫۴۴	۲۰٫۰۲	۲۰٫۴۹	۲۰٫۰۹
FeO	۰٫۱۶	۰٫۲۶	۰٫۴۶	۰٫۲۸	۰٫۴۴	۰٫۵۴	۰٫۱۸	۰٫۳۱	۰٫۳۳	۰٫۱۸	۰٫۲۴	۰٫۱۴	۰٫۴۳	۰٫۲۷	۰٫۲۵	۰٫۰۵	۰٫۱۸	۰٫۰۷	۰٫۱۴
Mno	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
MgO	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
CaO	۷٫۱۹	۰٫۲۷	۰٫۲۶	۰٫۳۲	۰٫۲۳	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۲۱	۰٫۰۴	۰٫۲۷	۰٫۲۷	۰٫۱۹	۰٫۳	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۳۵	۰٫۲۲	۰٫۲۴
Na_2O	۷٫۴۸	۱۰٫۰۸	۱۱٫۳۴	۸٫۸۲	۸٫۸۷	۱۰٫۱۴	۱۰٫۷۱	۱۱٫۷۷	۱۰٫۷۲	۱٫۲۴	۱۰٫۵۸	۱۲٫۶۶	۱۱٫۹	۱۲٫۴۵	۱۱٫۴۳	۱۲٫۱۹	۱۱	۱۱٫۲۸	۱۱٫۵۱
K_2O	۰٫۵۲	۴٫۰۷	۰٫۳۹	۱٫۶	۱٫۲۵	۱٫۹	۰٫۶۳	۰٫۴۹	۱٫۹	۱۴٫۵۶	۰٫۶۵	۰٫۴۷	۰٫۲۵	۰٫۴۳	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۳۶	۰٫۰۹	۰٫۱۲

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]



شکل ۴ الف) تفکیک بیوتیت‌های اولیه از بیوتیت‌های ثانویه در نمودار سه‌تایی مرجع [۶]، ب) جایگاه نمونه‌های بیوتیت اولیه در نمودار ASPE [۷]، پ) نمودار مقدار Si نسبت به (Fe/Fe+Mg) اغلب بیوتیت‌ها از نوع بیوتیت‌های آهن‌دار و بعضی از نمونه‌ها از نوع بیوتیت منیزیم‌دار هستند [۸]. رنگ‌های مختلف در این نمودار نشانگر بلورهای متفاوت کانی بیوتیت است.

نتایج بدست آمده از تجزیه ریزپردازشی بیوتیت‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهند که این کانی‌ها تمرکز بالایی از MgO (۸٫۳۹-۱۴٫۷۸٪) و مقدار پایینی از Al_2O_3 (۱۲٫۸۲-۱۳٫۸۲٪) را دارند و همچنین بیوتیت‌های مورد بررسی دارای تمرکز به نسبت بالایی از FeO (۲۴٫۲۷-۳۱٫۵۷٪) هستند. بنابراین ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها نشان می‌دهد که این کانی‌ها از نوع بیوتیت‌های اولیه هستند و به طور مستقیم از ماگما متبلور شده‌اند [۹].

شیمی کانی آمفیبول

برای تعیین شیمی کانی آمفیبول دایک‌های غرب عقدا، ۲۶ نقطه از دو بلور آمفیبول تجزیه نقطه‌ای شدند نخست برای تشخیص خاستگاه آمفیبول‌ها از فراوانی مجموع (Na+Ca+K) نسبت به مقدار Si در هر واحد فرمولی بر اساس تقسیم‌بندی سیل و همکاران [۱۰] استفاده شد که بر پایه این تقسیم‌بندی، آمفیبول‌های دایک‌های غرب عقدا جزء آمفیبول‌های ماگمایی هستند (شکل ۵ الف).

جدول ۲ نتایج تجزیه نقطه‌ای کانی‌های بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن دایک‌های عقدا.

	بیوتیت- بلور ۱		بیوتیت- بلور ۱													بیوتیت-بلور ۱		
نقاط	۴۳/۱.	۴۴/۱.	۴۵/۱.	۴۶/۱.	۴۷/۱.	۴۸/۱.	۴۹/۱.	۵۰/۱.	۵۱/۱.	۵۲/۱.	۵۳/۱.	۵۴/۱.	۵۵/۱.	۴/۱.	۵/۱.	۷۰/۱.	۷۱/۱.	۷۲/۱.
SiO_2	۳۱٫۵۵	۳۳٫۶۲	۳۵٫۷	۳۵٫۷۱	۳۵٫۵۱	۳۵٫۵۷	۳۲٫۳۱	۳۶٫۱۵	۳۷٫۲۳	۳۶٫۲۴	۳۳٫۵۸	۳۴٫۵۵	۳۴٫۷۱	۳۲٫۴۶	۳۶٫۰۶	۳۳٫۲۳	۳۴٫۷	۳۳٫۱۶
TiO_2	۱٫۹۲	۲٫۴۸	۳٫۱۲	۳٫۸۷	۴٫۴	۰٫۴۴	۰٫۲۳	۴٫۳۹	۳٫۸۷	۳٫۹	۲	۲٫۲۸	۴٫۱۱	۰٫۰۰	۰٫۱۶	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۰
Al_2O_3	۱۳٫۲۵	۱۳٫۳۳	۱۲٫۵۳	۱۳٫۶۲	۱۳٫۳۱	۱۴٫۰۸	۱۵٫۷۱	۱۲٫۸۲	۱۳٫۰۴	۱۳٫۱۷	۱۳٫۷۱	۱۳٫۸۲	۱۳٫۳۲	۲۲٫۹۸	۲۲٫۲۹	۲۱٫۵۸	۱۹٫۸۳	۲۱٫۱۴
FeO	۲۹٫۳۷	۲۶٫۱۳	۲۴٫۲۷	۲۵٫۲۹	۲۵٫۴۶	۲۸٫۰۹	۳۱٫۵۷	۲۶٫۰۶	۲۵٫۲۱	۲۵٫۷۹	۳۰٫۲۹	۲۸٫۱۲	۲۶٫۳۸	۱۸٫۴۶	۱۵٫۳۱	۱۷٫۵۷	۱۷٫۸۳	۱۸٫۸۳
Mno	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۲۵	۰٫۲۷	۰٫۲۷	۰٫۲	۰٫۲۹
MgO	۹٫۹۳	۹٫۹۵	۸٫۹۶	۸٫۵۲	۷٫۴۱	۱۴٫۷۸	۱۳٫۳۲	۱۰٫۳۵	۹	۹٫۰۸	۱۰٫۲۵	۱۰٫۶۵	۸٫۳۹	۲۱٫۱۳	۲۰٫۳۴	۲۳٫۵۳	۲۲٫۹۵	۲۲٫۴۵
CaO	۰٫۳۲	۰٫۴۳	۰٫۹۹	۰٫۴	۰٫۱۳	۰٫۳۱	۰٫۱۳	۰٫۹۹	۰٫۵۷	۰٫۵۸	۰٫۲۸	۰٫۳۸	۰٫۳۳	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۷
Na_2O	۰٫۱۵	۰٫۲۴	۰٫۲۴	۰٫۳	۰٫۱۲	۰٫۰۹	۰٫۱۳	۰٫۲۴	۰٫۱۱	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۲	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۱۳	۰٫۲۲	۰٫۱۲
K_2O	۹٫۴۹	۹٫۸۳	۱۰٫۱۷	۸٫۲۸	۹٫۶۴	۲٫۶	۲٫۷۶	۴٫۹۴	۶٫۹	۷٫۰۳	۵٫۶۱	۵٫۹۶	۸٫۶	۰٫۰۴	۰٫۳۴	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۲

ادامه جدول ۲

	بیوتیت- بلور ۱	آمفیبول-بلور ۱										آمفیبول-بلور ۱						
نقاط	۹/۱.	۱/۱.	۲/۱.	۳/۱.	۴/۱.	۵/۱.	۶/۱.	۷/۱.	۸/۱.	۹/۱.	۱۰/۱.	۳۰/۱.	۳۱/ ۱.	۳۲/۱.	۳۳/۱.	۳۴/۱.	۳۵/۱.	۳۶/۱.
SiO_2	۳۸٫۷۷	۴۸٫۵۹	۴۸٫۲	۴۷٫۶۸	۴۸٫۱۳	۴۸٫۴۱	۴۸٫۲۳	۴۸٫۰۶	۴۸٫۶۶	۴۸٫۷	۴۸٫۲۸	۴۷٫۲۹	۴۷٫۸۸	۴۸٫۱۸	۴۶٫۶۸	۴۸٫۲۵	۴۷٫۵۷	۴۸٫۲۴
TiO_2	۰٫۵۱	۰٫۸۸	۱٫۱۲	۱٫۰۸	۱٫۱۶	۰٫۹۹	۱٫۰۹	۱٫۱۹	۱٫۱	۰٫۹۸	۰٫۹۶	۱٫۰۶	۱	۰٫۹۹	۱٫۱۴	۰٫۹۴	۰٫۹۳	۰٫۸۸
Al_2O_3	۱۹٫۰۸	۷٫۰۱	۸٫۷۱	۸٫۶	۸٫۰۷	۷٫۹۹	۸٫۰۷	۸٫۰۳	۷٫۰۶	۸٫۱	۸٫۱۳	۸٫۳۴	۸٫۲۵	۷٫۸	۸٫۳۲	۷٫۷۳	۷٫۶۶	۷٫۶۱
FeO	۱۴٫۸۶	۱۳٫۵۹	۱۴٫۲۹	۱۳٫۸۶	۱۴٫۱۱	۱۳٫۳۴	۱۴٫۰۳	۱۳٫۵۵	۱۳٫۵۴	۱۳٫۱۶	۱۳٫۴۹	۱۳٫۷	۱۳٫۸۶	۱۳٫۵۲	۱۴٫۲۱	۱۴٫۰۵	۱۴٫۰۸	۱۴٫۲۲
MnO	۰٫۱۴	۰٫۴۹	۰٫۴	۰٫۳۸	۰٫۴۳	۰٫۴۳	۰٫۴۴	۰٫۴	۰٫۴۸	۰٫۴۳	۰٫۴۸	۰٫۴۵	۰٫۴۴	۰٫۴۴	۰٫۴۴	۰٫۳۸	۰٫۴۴	۰٫۴۲
MgO	۱۶٫۱۸	۱۴٫۳۸	۱۳٫۵۸	۱۳٫۷۹	۱۳٫۴۸	۱۴٫۰۷	۱۳٫۸۲	۱۳٫۶۴	۱۳٫۸۵	۱۴٫۰۴	۱۳٫۸۴	۱۳٫۲۱	۱۳٫۹	۱۴٫۰۸	۱۳٫۶۵	۱۳٫۹۸	۱۴٫۱۷	۱۴٫۱۴
CaO	۰٫۱۴	۱۱٫۰۵	۱۱٫۱۹	۱۱٫۲۳	۱۱٫۱۱	۱۱٫۰۵	۱۱٫۳۹	۱۱٫۲۹	۱۱٫۲۴	۱۰٫۹۵	۱۱٫۰۸	۱۱٫۱۴	۱۰٫۹۶	۱۱٫۵۶	۱۱٫۶۹	۱۱٫۲۲	۱۱٫۲۱	۱۱٫۱
Na_2O	۰٫۲۶	۱٫۵۶	۱٫۷	۱٫۷۷	۱٫۶۶	۱٫۶۷	۱٫۷۲	۱٫۷۳	۱٫۷۴	۱٫۶۷	۱٫۶۳	۱٫۵۱	۱٫۴۱	۱٫۳۵	۱٫۷۸	۱٫۴۷	۱٫۵۱	۱٫۴۶
K_2O	۳٫۶۸	۰٫۴۱	۰٫۴۸	۰٫۴۸	۰٫۵۲	۰٫۵۲	۰٫۵۵	۰٫۵۲	۰٫۴۴	۰٫۴	۰٫۴۹	۰٫۴۹	۰٫۴۸	۰٫۵	۰٫۶۹	۰٫۴۹	۰٫۵۱	۰٫۴۸

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]

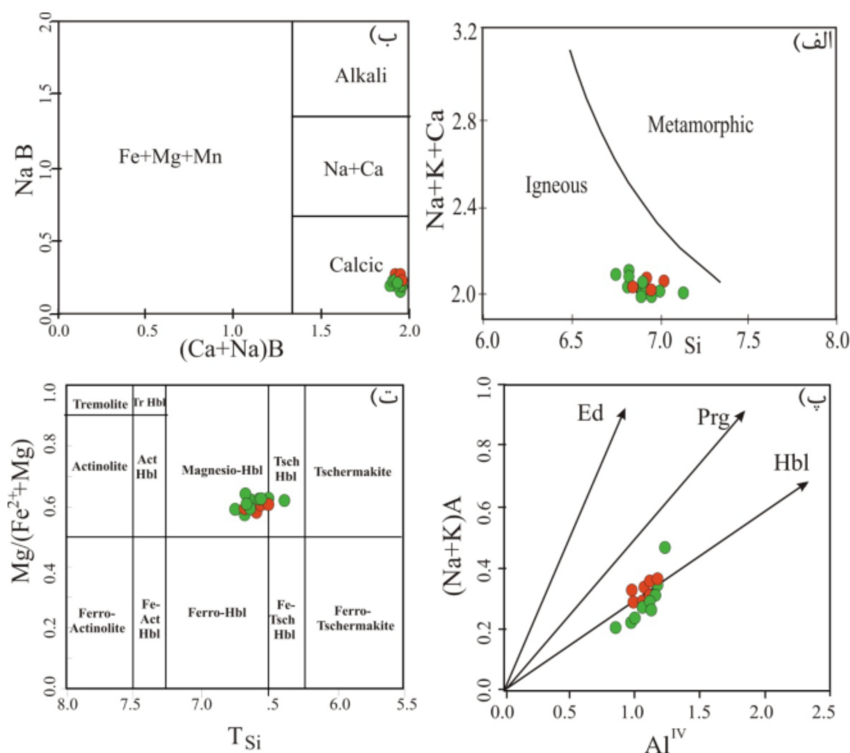
ادامه جدول ۲

	پیروکسن- بلور۱			پیروکسن- بلور۱				
نقاط	۳۶/۱.	۳۷/۱.	۳۸/۱.	۴۱/۱.	۴۲/۱.	۴۳/۱.	۴۴/۱.	۴۵/۱.
SiO_2	۵۴/۲۱	۵۴/۷۱	۵۵/۳۳	۵۵/۷۹	۵۱/۸۹	۴۹/۵۲	۵۷/۳۱	۵۶/۶۷
TiO_2	۰/۴۶	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۰۴	۰/۱۴
Al_2O_3	۲/۴۵	۱/۷۷	۱/۷۴	۱/۰۴	۳/۶۷	۴/۹۳	۱/۶۵	۱/۵۹
FeO	۷/۲۷	۱۱/۲۸	۱۰/۴۹	۱۰/۷۹	۸/۱۲	۱۱/۸۷	۹/۸۶	۱۰/۸
Fe_2O_3	۱/۹۶	۱/۵۷	۱/۶۳	۱/۵۷	۲/۳۹	۲/۲۹	۱/۵۴	۱/۶۴
MnO	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲۶
MgO	۱۷/۴۴	۱۵/۰۴	۱۵/۹۵	۱۵/۳۹	۱۵/۵۹	۱۵/۹۲	۱۷/۳۸	۱۵/۶۶
CaO	۱۲/۲۲	۱۲/۱۴	۱۲/۵۷	۱۲/۲۷	۱۲/۳۷	۱۱/۶۹	۱۱/۶۵	۱۱/۲۶
Na_2O	۱/۲۳	۰/۸۸	۰/۸	۰/۹۵	۱/۴۳	۱/۰۵	۰/۸۱	۱/۱۱
K_2O	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۱

	آمفیبول-بلور ۱								
نقاط	۳۷/۱.	۳۸/۱.	۳۹/۱.	۴۰/۱.	۴۱/۱.	۴۲/۱.	۴۳/۱.	۴۴/۱.	۴۵/۱.
SiO_2	۴۸/۵۳	۴۸/۶۴	۴۸/۵۲	۴۹/۶۵	۴۸/۳۶	۴۷/۳۹	۴۷/۴۹	۴۸/۵۹	۴۷/۳۶
TiO_2	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۷۹	۰/۹	۱	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۹۹
Al_2O_3	۷/۴۸	۷/۷۹	۷/۹۸	۶/۵۸	۸/۰۲	۸/۲۳	۷/۷۵	۷/۴۳	۸/۹۸
FeO	۱۳/۷۸	۱۳/۰۸	۱۳/۹۱	۱۲/۹۱	۱۳/۵۹	۱۴/۵۶	۱۳/۴۸	۱۳/۷۸	۱۳/۷۸
MnO	۰/۴۴	۰/۵	۰/۴۴	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۴۵
MgO	۱۴/۳۲	۱۳/۷	۱۳/۸۹	۱۴/۴۸	۱۴/۲۴	۱۳/۷۹	۱۴/۵۳	۱۳/۸۴	۱۳/۰۶
CaO	۱۱/۱	۱۱/۰۱	۱۱/۰۲	۱۱/۰۹	۱۱/۲۱	۱۱/۱۸	۱۱/۲۴	۱۱/۲۴	۱۱/۴۸
Na_2O	۱/۳۸	۱/۴۹	۱/۶	۱/۴۱	۱/۴۸	۱/۴۸	۱/۵۴	۱/۳۱	۱/۶۶
K_2O	۰/۴۶	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۴۳	۰/۶

ادامه جدول ۲

	پیروکسن- بلور۱		پیروکسن- بلور۱					پیروکسن- بلور۱			پیروکسن- بلور۱		پیروکسن- بلور۱			
نقاط	۳۹/۱.	۴۰/۱.	۴۶/۱.	۴۷/۱.	۴۸/۱.	۴۹/۱.	۵۰/۱.	۵۲/۱.	۵۳/۱.	۵۴/۱.	۵۵/۱.	۵۶/۱.	۵۷/۱.	۵۸/۱.	۵۹/۱.	۶۰/۱.
SiO_2	۵۳/۵۷	۵۶/۶۹	۵۷/۴۹	۵۷/۱۶	۵۴/۵۳	۵۵/۷۷	۵۴/۲۳	۵۵/۳۷	۵۵/۶۱	۵۶/۳۱	۵۵/۵۲	۵۵/۸۳	۵۶/۴۱	۵۵/۷۳	۵۵/۸	۵۶
TiO_2	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶
Al_2O_3	۳/۱۱	۱/۳۳	۱/۷۲	۱/۳۵	۱/۹۳	۱/۱۹	۱/۴۴	۲/۸۱	۱/۵۷	۲/۶	۱/۳۱	۱/۱۷	۱/۲۱	۱/۸۴	۱/۱۳	۱/۳۲
FeO	۱۰/۵۶	۹/۲۶	۹/۷۴	۹/۸۴	۱۰/۶۲	۱۰/۰۲	۱۰/۳۳	۱۰/۵۱	۱۰/۵	۹/۷۱	۹/۵۸	۸/۹۹	۹/۲۶	۹/۷۴	۹/۷۱	۸/۹۹
Fe_2O_3	۱/۵۳	۱/۵۲	۱/۶۳	۱/۵۳	۱/۵۵	۱/۵۲	۱/۵۹	۱/۶۲	۱/۵۶	۱/۶۱	۱/۶۱	۱/۶۱	۱/۵۷	۱/۵۵	۱/۵۴	۱/۵۶
MnO	۰/۲	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۲۱
MgO	۱۶/۱۱	۱۷/۵۳	۱۵/۴۵	۱۶/۵۹	۱۵/۸۷	۱۶/۷۸	۱۵/۱۵	۱۷/۰۶	۱۵/۸۶	۱۷/۵۶	۱۶/۱۹	۱۶/۳۷	۱۶/۴۴	۱۵/۹۱	۱۶/۵۵	۱۶/۳۷
CaO	۱۱/۹۷	۱۱/۷۱	۱۱/۷	۱۱/۵۵	۱۲/۰۴	۱۲/۵۹	۱۱/۷۸	۱۰/۵۴	۱۱/۴۱	۱۰/۸۲	۱۱/۷۴	۱۱/۶۲	۱۱/۷۷	۱۱/۳	۱۲/۱۴	۱۱/۸۶
Na_2O	۰/۶۸	۰/۵۵	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۸۶	۰/۷۷	۰/۶۶	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۷۴	۰/۵	۰/۵۹
K_2O	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۱



شکل ۵ الف) نمودار تفکیک آمفیبول‌های ماگمایی از آمفیبول‌های دگرگونی برگرفته از مرجع [۱۱] که در این نمودار، نمونه‌ها در گستره‌ی آمفیبول‌های آذرین قرار دارند، ب) نمودار مرجع [۵] که آمفیبول‌ها در گستره‌ی کلسیمی قرار دارند، پ و ت) نمودارهای رده‌بندی و نامگذاری آمفیبول‌ها [۱۱]، رنگ‌های سبز و قرمز در این نمودار نشانگر بلور متفاوت کانی آمفیبول است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]

آمفیبول‌های دایک‌های غرب عقدا در تقسیم‌بندی آمفیبول‌ها از گروه کلسیمی هستند (شکل ۵ ب) [۵] و بر اساس تقسیم‌بندی $(Na+K)A$ نسبت به Al^{IV} در گستره‌ی هورنبلند و در نمودار $Mg/(Mg+Fe^{2+})$-T_{Si} در گستره‌ی مگنزیوهورنبلند قرار دارند [۱۱] (شکل‌های ۵ پ، ت).

شیمی کانی پیروکسن

به منظور تعیین شیمی کانی پیروکسن دایک‌های غرب عقدا از ۵ بلور مختلف پیروکسن ۲۴ نقطه تجزیه شدند. ترکیب پیروکسن‌های دایک‌های غرب عقدا در نمودار Q-J در گستره پیروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن (شکل ۶، الف) قرار دارد و در نمودار Wo-En-Fs [۱۲] ترکیب شیمیایی اوژیت را $(En_{0.50-0.58}, Fs_{0.14-0.22}, Wo_{0.25-0.31})$ نشان می‌دهند (شکل ۶، ب).

بحث و بررسی

در این بخش شرایط فیزیکی و شیمیایی تبلور دایک‌ها در منطقه غرب عقدا با استفاده از شیمی کانی‌های بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن بررسی می‌شود.

دما و فشارسنجی دایک‌های غرب عقدا

دما و فشارسنجی دایک‌های غرب عقدا با کاربرد کانی بیوتیت

کانی بیوتیت از میزبان‌های مهم Ti در سنگ‌هاست و از این رو از دماسنج Ti در بیوتیت برای تعیین دمای تشکیل بیوتیت‌ها استفاده می‌شود. مقدار Ti افزون بر دما، به عواملی مانند فشار، شیمی بلورهای بیوتیت و مجموعه کانیایی همراه آن‌ها وابسته است [۱۴،۱۳]، اما دما بیشترین تاثیر را بر مقدار Ti در بیوتیت دارد. افزایش فشار با اثر عکس بر مقدار Ti سبب کاهش Ti در بیوتیت می‌شود [۱۵-۱۸]. هنری و همکاران [۱۹] رابطه را برای محاسبه دما بر اساس مقدار Ti معرفی کرده‌اند که برای X_{Mg}= 0.275-1 ،Ti = 0.04-0.6 و T = 480-800 °C کاربرد دارد. فرمول این دماسنج به صورت زیر بیان شده است:

$$T(^oC) = \{(LnTi + 2.359 + 1.7283*(X_{Mg})^3)/(4.6482*10^{-9})\}^{0.333} \quad (۱)$$

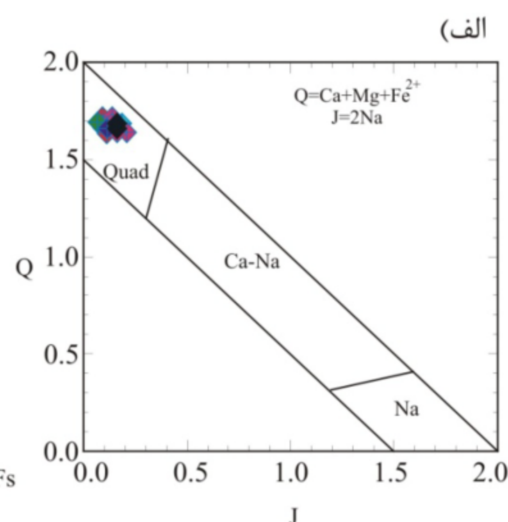
شرایط بیان شده با شیمی کانی بیوتیت دایک‌های غرب عقدا همخوانی دارد؛ از این رو، دمای تبلور دایک‌های غرب عقدا با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد و نتایج در جدول ۳ آورده شده است. دمای تبلور ۵۷۳-۵۹۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و مقدار متوسط آن ۶۷۷ درجه سانتیگراد است.

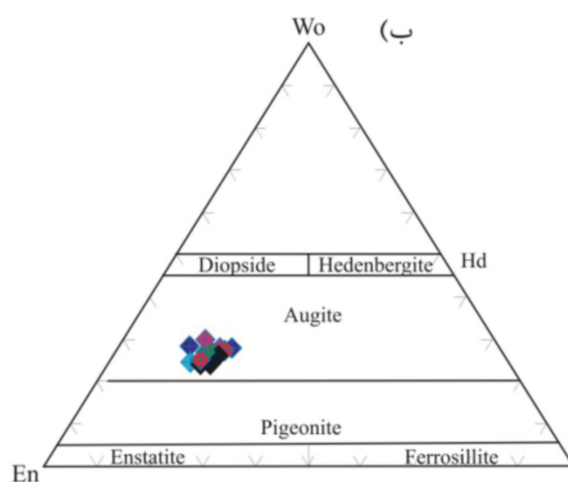
فشار

بررسی‌های یوچیدا و همکاران [۲۰] بیانگر وجود رابطه خطی مثبت بین مقدار Al^T بیوتیت و فشار تبلور ماگماست:

$$P_{(Kbar)} = 3.03\times Al^T - 6.53\pm0.33 \quad (۲)$$

بر اساس فشارسنجی بیوتیت با استفاده از این رابطه، فشار تبلور دایک‌های غرب عقدا ۱٫۲۰۵-۰٫۴۱۷ کیلوبار و متوسط آن ۰٫۸۶۹±۰٫۳۳ کیلوبار است.





شکل ۶ ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها در الف) نمودار Q-J و ب) نمودار مرجع [۱۲] در گستره‌ی اوژیت قرار دارند. رنگ‌های مختلف در این نمودار نشانگر بلورهای متفاوت کانی پیروکسن است.

جدول ۳ فشار به دست آمده بر اساس مقدار آلومینیوم موجود در بیوتیت دایک‌های غرب عقدا و دمای تبلور به دست آمده با استفاده از رابطه (۱).

نقاط	Al_{total}	Ti	X_{Mg}	P (Kbar) [۱۹]	T °C [۱۸]
۴۳/۱.	۲/۵۳۹	۰/۲۳۵	۰/۳۷۶	۱/۱۶۳۱۷	۵۹۵/۹۲
۴۴/۱.	۲/۴۹۷	۰/۲۹۶	۰/۴۰۴	۱/۰۳۵۹۱	۶۴۲/۲۶
۴۵/۱.	۲/۳۰۳	۰/۳۶۶	۰/۳۹۷	۰/۴۴۸۰۹	۶۷۵/۶۵
۴۶/۱.	۲/۴۷۶	۰/۴۴۹	۰/۳۷۵	۰/۹۷۲۲۸	۷۰۳/۳۴
۴۷/۱.	۲/۴۴۴	۰/۵۱۶	۰/۳۴۲	۰/۸۷۵۳۲	۷۱۹/۵۸
۴۸/۱.	۲/۵۰۶	۰/۵	۰/۴۸۴	۱/۰۶۳۱۸	۷۳۲/۲۹
۵۰/۱.	۲/۲۹۳	۰/۵۰۱	۰/۴۱۴	۰/۴۱۷۷۹	۷۲۲/۸۳
۵۱/۱.	۲/۳۲۷	۰/۴۴۱	۰/۳۸۹	۰/۵۲۰۸۱	۷۰۲/۲۹
۵۲/۱.	۲/۳۷۶	۰/۴۴۹	۰/۳۸۶	۰/۶۶۹۲۸	۷۰۴/۵۱
۵۳/۱.	۲/۵۵۳	۰/۲۳۸	۰/۳۷۶	۱/۲۰۵۵۹	۵۹۸/۴۲
۵۴/۱.	۲/۵۳۱	۰/۲۶۶	۰/۴۰۳	۱/۱۳۸۹۳	۶۲۳/۳۶
۵۵/۱.	۲/۴۵۷	۰/۴۸۴	۰/۳۶۲	۰/۹۱۴۷۱	۷۱۲/۵۸
متوسط	۲/۴۴۲	۰/۳۹۵	۰/۳۹۲	۰/۸۶۹	۶۷۷/۷۵

دما و فشارسنجی دایک‌های غرب‌عقدا با کاربرد کانی آمفیبول

با استفاده از تغییرات Ti نسبت به Al^{IV} [۲۲،۲۱] در آمفیبول‌های غرب عقدا، دما حدود ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است (شکل ۷ الف). مقدار Na، Ca، Ti و Al در ترکیب آمفیبول تابع فشار، دما و گریزندگی اکسیژن است. کاتیون‌های Ti، Al^{T} و Al^{IV} نسبت به دما حساسند، به طوری که افزایش دما سبب افزایش مقدار Ti و Al^{IV} می‌شود [۲۳]. مقدار Al^{VI} بر خلاف Al^{IV} متناسب با افزایش فشار افزایش می‌یابد و دما بر آن اثری ندارد. محاسبه مقدار Al^{VI} و Al^{T} اساس سنجش فشار با استفاده از ترکیب آمفیبول است، زیرا مقدار Al در آمفیبول تابع غلظت Al در ماگمای مادر نبوده بلکه تابع فشار تبلور آن است. بررسی‌های نشان می‌دهد که مقدار Al در هورنبلند با فشار تبلور رابطه خطی دارد و بر این اساس تعیین عمق جایگزینی توده امکان پذیر است [۲۴]. بر اساس نتایج فشارسنجی در نمودار تغییرات Al^{T} نسبت به Si [۲۵]، همه آمفیبول‌های مورد بررسی از دایک‌های غرب عقدا در گستره کم فشار (فشارهای کمتر از ۵ کیلوبار) قرار دارند (شکل ۷ ب).

در سنگ‌ها با فشار کمتر از ۲ کیلو بار، اثر دما بر Al^{T} چنان زیاد است که مستقل از فشار عمل می‌کند [۲۶]. بدین سبب از فشارسنجی اشمیت [۲۷] که در فشارهای کمتر از ۲ کیلوبار قابل استفاده است و خطای اندازه‌گیری کمتری دارد، برای تعیین فشار تشکیل آمفیبول در دایک‌های غرب عقدا استفاده شد:

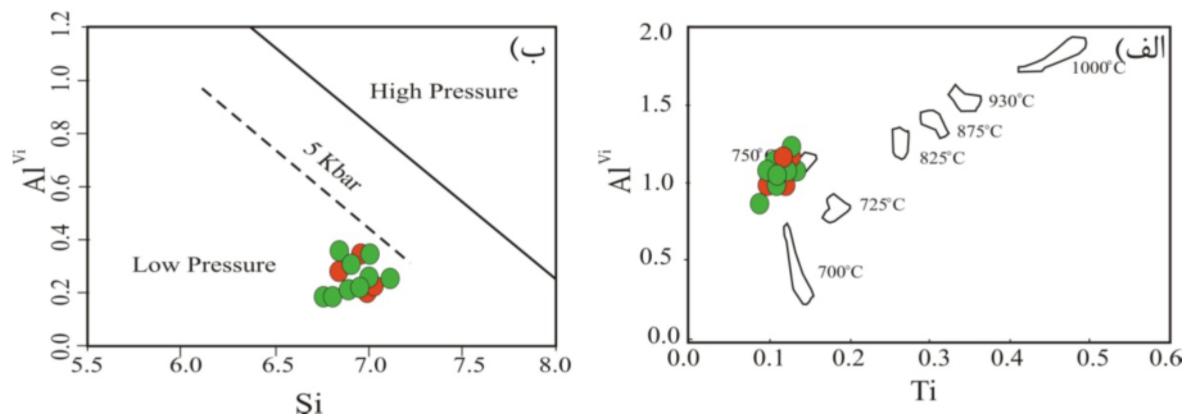
$$P (\pm o.6\ Kbar) = 4.76Al^{T} - 3.0 \quad \text{(معادله ۳)}$$

میانگین فشارهای محاسبه شده از روش اشمیت [۲۷]، ۳ کیلوبار است (جدول ۴) [۲۸].

برآورد گریزندگی اکسیژن بر حسب آمفیبول

حضور آمفیبول در دایک‌های غرب عقدا نشان دهنده‌ی غنی بودن ماگمای در حال تبلور از سازنده آب است. تغییر ترکیب آمفیبول‌ها ناشی از تغییر در گریزندگی اکسیژن و فعالیت‌های سیلیس ماگمایی است. یکی از روش‌های تعیین گریزندگی اکسیژن بررسی ترکیب آمفیبول‌هایی است که نسبت Fe/(Fe+Mg) آن‌ها بیشتر از ۰/۳ بوده و مقدار آلومینیوم چاروجهی آن‌ها نیز بیش از ۰/۷۵ است [۲۹]. شیمی آمفیبول‌های دایک‌های بهرام‌تاج دارای ترکیبی مناسب برای تعیین مقدار گریزندگی اکسیژن هستند. در نمودار شکل ۸ مقدار نسبی گریزندگی اکسیژن بر اساس نسبت Al^{IV} به Fe/Fe+Mg آمفیبول‌ها مشخص شده است [۲۹]. بر اساس این نمودار، مقدار نسبی گریزندگی اکسیژن در زمان تبلور آمفیبول‌های مورد بررسی بالا بوده است.

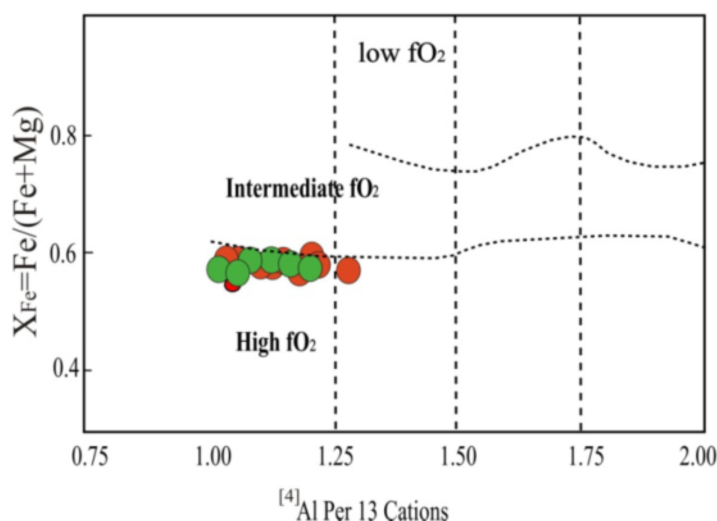
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]



شکل ۷ الف) نمودار Al^{vi} نسبت به Ti که در این نمودار دمای تبلور آمفیبول‌ها ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد مشخص شده است و ب) نمودار Al^{vi} نسبت به Si [۲۵]، که آمفیبول‌های مورد بررسی در گستره فشار پائین قرار دارند.

جدول ۴ تعیین فشار براساس مقدار آلومینیوم موجود در آمفیبول‌های دایک‌های غرب عقدا بر پایه واسنجی‌های مختلف.

Al در فشارسنج های Hb		Al در فشارسنج های هورنبلند						
		[۲۸]	[۲۳]	[۲۷]	[۲۹]P = f(Al, T)			
متوسط		۲٫۲۱	۲٫۸۲	۳٫۳۷	۷۵۰	۲٫۴۰	۸۰۰	۱٫۳۵
انحراف استاندارد		۰٫۳۷۶۹۷۱۹۲۸	۰٫۴۴۸۲۶۶۸۵۵	۰٫۴۲۴۲۰۵		۰٫۳۸۲۵۲۹		۰٫۳۵۴۷۴۵
نقاط	Al^t	P	P	P	T, ºC	P	T, ºC	P
۱٫۱۰	۱٫۱۹	۱٫۵۷	۲٫۰۷	۲٫۶۵	۷۵۰	۱٫۷۵	۸۰۰	۰٫۷۵
۲٫۱۰	۱٫۴۵۹	۲٫۷۱	۳٫۴۲	۳٫۹۳	۷۵۰	۲٫۹۰	۸۰۰	۱٫۸۲
۳٫۱۰	۱٫۴۵۳	۲٫۶۹	۳٫۳۹	۳٫۹۱	۷۵۰	۲٫۸۸	۸۰۰	۱٫۸۰
۴٫۱۰	۱٫۳۶۷	۲٫۳۲	۲٫۹۶	۳٫۵۰	۷۵۰	۲٫۵۱	۸۰۰	۱٫۴۶
۵٫۱۰	۱٫۳۵	۲٫۲۵	۲٫۸۷	۳٫۴۲	۷۵۰	۲٫۴۳	۸۰۰	۱٫۳۹
۶٫۱۰	۱٫۳۵۹	۲٫۲۹	۲٫۹۲	۳٫۴۶	۷۵۰	۲٫۴۷	۸۰۰	۱٫۴۳
۷٫۱۰	۱٫۳۶۳	۲٫۳۱	۲٫۹۴	۳٫۴۸	۷۵۰	۲٫۴۹	۸۰۰	۱٫۴۴
۸٫۱۰	۱٫۲۰۲	۱٫۶۲	۲٫۱۳	۲٫۷۱	۷۵۰	۱٫۸۰	۸۰۰	۰٫۸۰
۹٫۱۰	۱٫۳۶۵	۲٫۳۱	۲٫۹۵	۳٫۴۹	۷۵۰	۲٫۵۰	۸۰۰	۱٫۴۵
۱۰٫۱۰	۱٫۳۷۶	۲٫۳۶	۳٫۰۰	۳٫۵۴	۷۵۰	۲٫۵۵	۸۰۰	۱٫۴۹
۳۰٫۱۰	۱٫۴۳۳	۲٫۶۰	۳٫۲۹	۳٫۸۱	۷۵۰	۲٫۷۹	۸۰۰	۱٫۷۲
۳۱٫۱۰	۱٫۳۹۹	۲٫۴۶	۳٫۱۲	۳٫۶۵	۷۵۰	۲٫۶۴	۸۰۰	۱٫۵۹
۳۲٫۱۰	۱٫۳۲۱	۲٫۱۳	۲٫۷۲	۳٫۲۸	۷۵۰	۲٫۳۱	۸۰۰	۱٫۲۸
۳۳٫۱۰	۱٫۴۲۱	۲٫۵۵	۳٫۲۳	۳٫۷۵	۷۵۰	۲٫۷۴	۸۰۰	۱٫۶۷
۳۴٫۱۰	۱٫۳۰۸	۲٫۰۷	۲٫۶۶	۳٫۲۲	۷۵۰	۲٫۲۵	۸۰۰	۱٫۲۲
۳۵٫۱۰	۱٫۳۰۳	۲٫۰۵	۲٫۶۳	۳٫۱۹	۷۵۰	۲٫۲۳	۸۰۰	۱٫۲۰
۳۶٫۱۰	۱٫۲۸۷	۱٫۹۸	۲٫۵۵	۳٫۱۲	۷۵۰	۲٫۱۶	۸۰۰	۱٫۱۴
۳۷٫۱۰	۱٫۲۶۵	۱٫۸۹	۲٫۴۴	۳٫۰۱	۷۵۰	۲٫۰۷	۸۰۰	۱٫۰۵
۳۸٫۱۰	۱٫۳۲۵	۲٫۱۴	۲٫۷۴	۳٫۳۰	۷۵۰	۲٫۳۳	۸۰۰	۱٫۲۹
۳۹٫۱۰	۱٫۳۴۵	۲٫۲۳	۲٫۸۵	۳٫۳۹	۷۵۰	۲٫۴۱	۸۰۰	۱٫۳۷
۴۰٫۱۰	۱٫۱۱۵	۱٫۲۶	۱٫۶۹	۲٫۳۰	۷۵۰	۱٫۴۳	۸۰۰	۰٫۴۶
۴۱٫۱۰	۱٫۳۵۱	۲٫۲۵	۲٫۸۸	۳٫۴۲	۷۵۰	۲٫۴۴	۸۰۰	۱٫۳۹
۴۲٫۱۰	۱٫۳۹۵	۲٫۴۴	۳٫۱۰	۳٫۶۳	۷۵۰	۲٫۶۳	۸۰۰	۱٫۵۷
۴۳٫۱۰	۱٫۳۱۷	۲٫۱۱	۲٫۷۰	۳٫۲۶	۷۵۰	۲٫۲۹	۸۰۰	۱٫۲۶
۴۴٫۱۰	۱٫۲۶۳	۱٫۸۸	۲٫۴۳	۳٫۰۰	۷۵۰	۲٫۰۶	۸۰۰	۱٫۰۴
۴۵٫۱۰	۱٫۵۳	۳٫۰۱	۳٫۷۸	۴٫۲۷	۷۵۰	۳٫۲۱	۸۰۰	۲٫۱۱
متوسط	۱٫۲۳	۲٫۰۲	۲٫۵۸	۳٫۰۹		۲٫۱۹		۱٫۲۳



شکل ۸ تعیین گریزندگی دایک‌های غرب عقدا با استفاده از شیمی کانی آمفیبول [۲۹].

دما و فشارسنجی دایک‌های غرب عقدا با کاربرد کانی پیروکسن

پیروکسن به عنوان یک کانی ردیاب، بازتاب کننده شرایط فیزیکی (دما و فشار) ماگما در زمان تبلور آن است و در سنگ‌شناسی سنگ‌های آذرین، از روابط دمافشارسنجی برای ارزیابی دما و فشار تبلور کانی‌ها استفاده می‌شود. از این رو، برای تعیین دما و فشار از شیمی‌کلینوپیروکسن‌های دایک‌های غرب عقدا از روش‌های مختلفی استفاده شده است. یک روش تعیین دما و فشار با استفاده از شاخص‌های X_{PT} و Y_{PT} برگرفته از مرجع [۳۰] است که در آن دما و فشار بصورت ترسیمی نمایش داده می‌شود و محورهای X و Y براساس دو شاخص X_{PT} و Y_{PT} تعریف می‌شوند. همچنین محاسبه شاخص‌های X_{PT} و Y_{PT} به منظور تعیین موقعیت نقاط مورد بررسی شده روی نمودار با روابط زیر امکان پذیر است:

$$X_{PT} = ۰٫۴۴۶SiO_2 + ۰٫۱۸۷ \times TiO_2 - ۰٫۴۰۴ \times Al_2O_3 + ۰٫۳۴۶ \times FeO_{(tot)} - ۰٫۰۵۲ \times MnO + ۰٫۳۰۹ \times MgO + ۰٫۴۳۱CaO - ۰٫۴۴۶\ Na_2O$$

$$Y_{PT} = -۰٫۳۶۹ \times SiO_2 + ۰٫۵۳۵ \times TiO_2 - ۰٫۳۱۷ \times Al_2O_3 + ۰٫۳۲۳ \times FeO_{(tot)} + ۰٫۲۳۵ \times MnO - ۰٫۵۱۶ \times MgO ۰٫۱۶۷ \times CaO - ۰٫۱۵۳ \times Na_2O \quad (۴)$$

برای کلینوپیروکسن‌های دایک‌های غرب عقدا با استفاده از مقادیر محاسبه شده X_{PT} و X_{YT} توسط روابط بالا، مقدار فشار تبلور در گستره کمتر از ۲ تا ۵ کیلوبار و دمای تشکیل آن‌ها ۱۱۵۰درجه سانتیگراد بدست آمده است (شکل ۹).

در روش دماسنجی مرجع [۳۱] بر پایه درصد مولکولی ولاستونیت- انستاتیت- فروسیلیت، دمای تبلور کلینوپیروکسن‌ها در گستره‌ی ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد (شکل ۱۰).

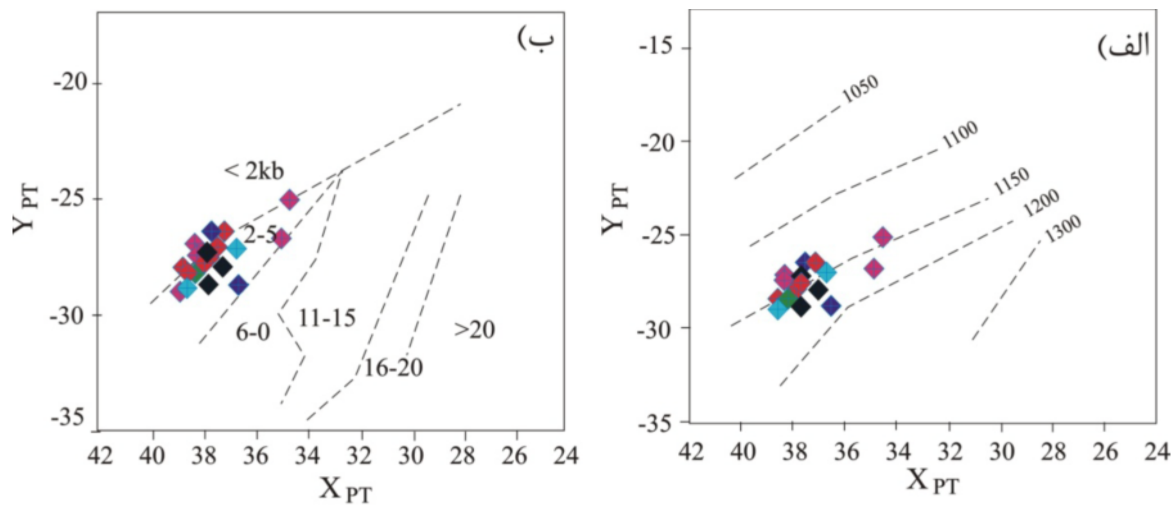
سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی دایک‌های غرب عقدا با کاربرد شیمی‌کانی بیوتیت

ترکیب شیمیایی بیوتیت از آنجا که نشان‌دهنده‌ی ویژگی‌های ماگمای مادر است [۳۲]، برای جهت شناخت ماهیت ماگمای مادر به کار می‌رود. بر این اساس، ترکیب شیمیایی بیوتیت‌های دایک‌های غرب عقدا در نمودارهای مرجع [۳۲] ماهیت ماگمای قلیایی را نشان می‌دهند (شکل ۱۱).

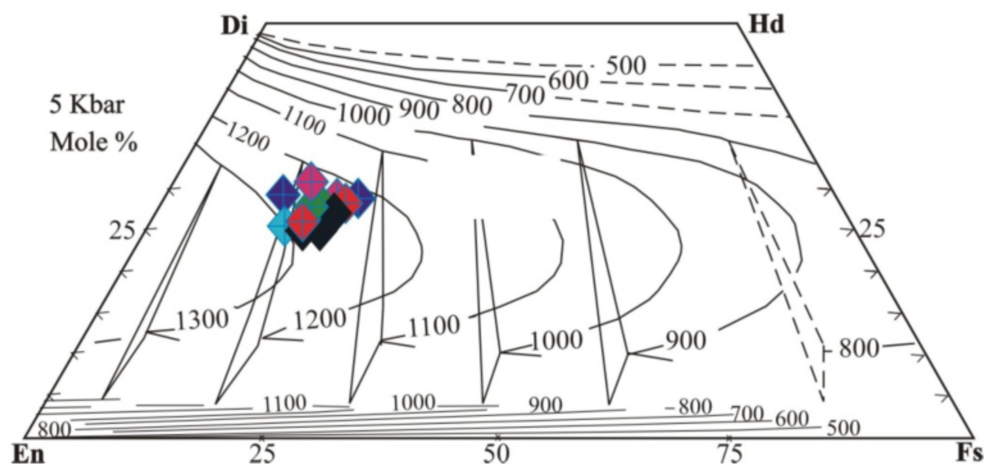
سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی با کاربرد شیمی‌کانی کلینوپیروکسن

حضور عناصر Al، Ti، Ca، Si وNa در ساختار کلینوپیروکسن‌ها تا حد بسیاری به میزان قلیایی بودن ماگمای مادر وابسته است [۳۴،۳۳]. از این رو، ترکیب شیمی کلینوپیروکسن‌ها در ارتباط با ترکیب شیمیایی ماگما و محیط تشکیل ماگماست. در نمودار سه‌تایی $MnO-TiO_2-Na_2O$، ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها در گستره‌ی قلیایی‌های درون صفحه‌ای (WPA) قرار دارند. همچنین، براساس نمودارهای F_1 و F_2 [۳۵] محیط زمین‌ساختی تشکیل کلینوپیروکسن‌ها در گستره‌ی تولئیتی‌های (WPT) قرار می‌گیرند [۳۵] (شکل۱۲).

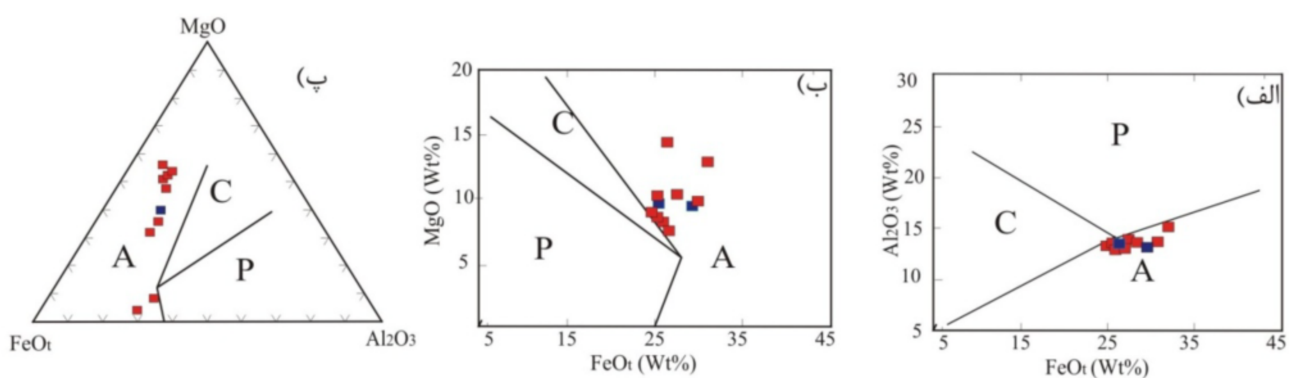
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]



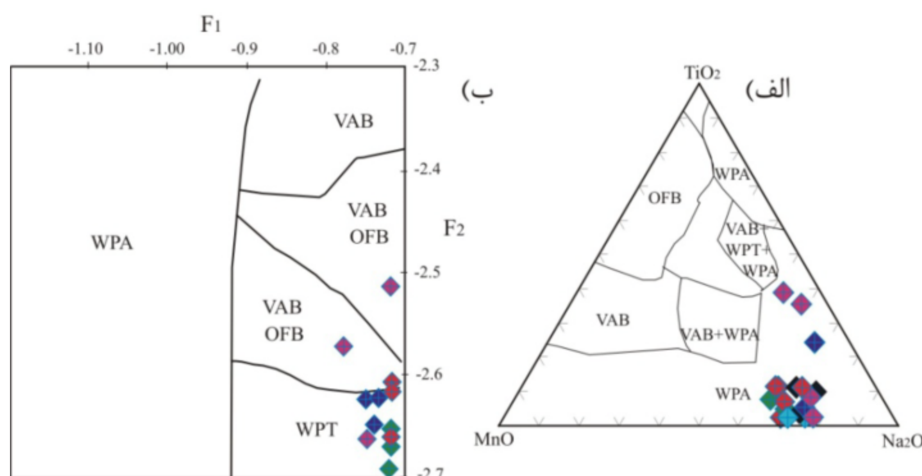
شکل ۹ الف) دماسنجی و ب) فشارسنجی دایک‌های غرب عقدا با استفاده از کانی کلینوپیروکسن [۳۰].



شکل ۱۰ تعیین دمای تبلور دایک‌های غرب عقدا با استفاده از دماسنج کانی تک کلینوپیروکسن [۳۱].



شکل ۱۱ نمودارهای تعیین سری ماگمایی بر اساس شیمی بیوتیت [۳۲]، که بیوتیت‌های مورد بررسی در گستره قلیایی قرار دارند.



شکل ۱۲ الف) تعیین محیط زمین ساختی دایک‌های غرب عقدا با کاربرد کانی کلینوپیروکسن. همه نمونه‌ها در گستره‌ی WPT قرار دارند [۳۵].

برداشت

با بررسی شیمی کانی‌های بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن در دایک‌های دیابازی غرب عقدا در این پژوهش مشخص شد که این دایک‌ها در یک محیط کششی درون قاره‌ای با ماهیت ماگمای قلیایی ایجاد شده‌اند که گریزندگی ماگما طی تبلور بالا بوده است. دمای تبلور بیوتیت و آمفیبول حدود ۷۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و دمای تبلور پیروکسن ۱۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده و فشار کمتر از ۵ کیلوبار است.

قدردانی

این پژوهش در راستای کارهای پژوهشی شرکت کاوش فن آور مانا و با حمایت مالی آن انجام شده است که نویسندگان به این وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی این شرکت تشکر می‌نمایند.

مراجع

[1] Gholizadeh K., Rasa I., Yazdi M., Boni M., Mohamadi M., *"Mineralogy of Zn-non sulfides (calamine) Bahramtaj zinc and lead deposit"*, Thirty-fifth National Geosciences conference, Feb 2017.

[2] Mahabadi S.A., Foudazi M., *"Geological map of Aghda (1/100000)"*, Geological survey of Iran (2007).

[3] Stocklin J., *"Structural history and tectonics of Iran: a review"*. AAPG Bull 25(1968) 1229-1258.

[4] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185–187.*

[5] Deer W.A., Howie A., Zussman J., *"An interduction to the rock – formingminerals"*, 17th ed., (1986) Longman Ltd, 528P.

[6] Nachit H., Ibhi A., Abia E.H., Ohoud M.B., *"Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites",* Geomaterials (Mineralogy) Geoscience 337 (2005).

[7] Spear J.A., *"Micas in igneous rocks"*, In: Micas, Bailey, S.W., (ed): Mineralogical Society of America, Review in Mineralogy, 13 (1984) 299 – 356.

[8] Stone D., *"Temperature and pressure variations in suites of Archean felsic plutonic rocks, Berens river area, northwest superior province, Ontario, Cananda"*, The Canadian Mineralogist, 38(2000) 455-470.

[9] Foster M. D., *"Interpretation of the composition of trioctahedral micas"*, United States Geological Survey Professional Paper 354-B (1960) 11-46.

[10] Sial A.N., Ferreira V.P., Fallick A.E., Cruz E.A., *"Amphibole-rich clots in calc-alkalic granitoids in the Borborema Province, Northeastern Brazil"*, Journal of South American Earth 11(5)(1998) 457-472.

[11] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C.,

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.2.8.0]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.2.369]

barometer", American Mineralogist (1995) 80: 549-559.

[22] Helz R., *"Phase reactions of basalts in their melting range at PH_2O=5kb, Part 11, Melt composition"*, Journal of Petrology 17(1993) 139-193.

[23] Hammarstrom, J.M., Zen, E., *"Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer"*, American Mineralogist (1986) 71: 1297-1331.

[24] Vyhnal C.R., Mcsween, H.Y., Speer, J.A., *"Hornblende Chemistry in Southern Appalachian Granitoids: implications for aluminum hornblende thermo barometry and magmatic epidote stability"*, American Mineralogist 76(1991) 176-188.

[25] Raase P., *"Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 45(1974) 231-236.

[26] Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B., *"Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of clac-alkaline plutons"*, American Mineralogist 72(1987) 231-239.

[27] Schmidt M.W., *"Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 110(1992) 304-310.

[28] Johnson M.C., Rutherford M.J., *"Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks"*, Geology 17(1989) 837-841.

[29] Anderson J.L., Smith, D.R., *"The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer"*, American Mineralogist 80(1995) 549-559

[30] Soesoo A., *"A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations"*, Geological Society of Sweden (Geologiska Foreningen) 119 (1997) 55-60.

Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whitaker E.J.W., Youzhi G. *"Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names"* Mineralogical Magazine (1997) 61 295–321.

[12] Morimoto N., *"Nomenclature of pyroxenes"*, Fortschr mineral 66 (1988) 237-252.

[13] Dymek R.F., *"Titanium, aluminum and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses West Greenland"*, American Mineralogist 68(1983) 880-889.

[14] Henry D.J., Guidotti C.V., *"Ti in biotite from metapelitic rocks: Temperature effects, crystallochemical controls and petrologic applications"*, American Mineralogist 87 (2002) 375-382.

[15] Arima M., Edgar A.D., *"Substitution mechanisms and solubility of titanium in phlogopites from rocks of probable mantle origin"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 77(1981) 288–295.

[16] Forbes W.C., Flower M.F.J., *"Phase relations of titan-phlogopite, K2Mg4TiAl2Si6O20 (OH)4: A: refractory phase in the uppe r mantle?"*, Earth and Planetary Science Letters 22 (1974) 60-66.

[17] Tronnes R.G., Edgar A.D., Arima M.,*"A high pressure-high temperature study of TiO2 solubility in Mg-rich phlogopite: Implications to phlogopite chemistry"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 49(1985) 2323–2329.

[18] Robert J.L., Sassi F.P., Takeda H., Weiss Z., Wones D.R., "*Nomenclature of the micas", Canadian Mineralogist* 36(3) (1998) 905-912.

[19] Henry Darrell J., Charles V. Guidotti, Jennifer A. Thomson. *"The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms"*, American Mineralogist 90 (2005) 316-328.

[20] Uchida E., Endo S., Makino M., *"Relationship between solidification depth of granitic rocks and formation of hydrothermal ore deposits"*, Resource Geology 57 (2007) 47-56.

[21] Anderson J. L., Smith D. R., *"The effects of temperature and fO2 on the Al-inhornblende*

[31] Lindsley D.H., *"Pyroxene thermometry"*, American Mineralogist 68 (1983) 477-493.

[32] Abdel-Rahman A.M., *"Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas"*, Journal of Petrology 35(2) (1994) 525-541.

[33] Le Base M.J., *"The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their Parentage"*, American Journal of Science 260 (1962) 267-288.

[34] Leterrier J., Maurry R.C., Thonon P., Girard D., Marchal M., *"Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinites of paleo-volcanic series"*, Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 139-154.

[35] Nisbet E. G., Pearce J.A., *"Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 63 (1977) 149–160.